

多层螺旋 CT 后处理技术的临床研究

王刚, 陈莉 综述 郑树卿 审核

【摘要】 多层螺旋 CT 及其各种图像后处理技术已广泛应用于临床各领域。图像质量高、重建速度快并可行回顾性薄层重建,能够快速、立体、清晰、多角度展示解剖结构,病变特征细节等,在临床应用方面显现一定优势。多层螺旋 CT 后处理技术包括最大密度投影(MIP)、多平面/曲面重建(MPR/CPR)、表面遮盖显示(SSD)、容积再现技术(VRT)、CT 仿真内镜(CTVE)及透明显示(Ray Sum)等,这些后处理技术综合应用才能发挥最大作用。本文主要针对国内外有关多层螺旋 CT 后处理技术的临床应用、方法限度、研究进展等方面予以综述。

【关键词】 图像处理,计算机辅助;体层摄影术,X线计算机;生物医学研究

【中图分类号】 R814.3; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)10-1076-04

随着 CT 新技术的进步、发展及不断完善,CT 扫描速度越来越快、空间分辨率越来越高、图像质量越来越好。MSCT 的问世,CT 的应用范围越来越广,薄层、容积、高速、大范围扫描的应用,其显示方式不断丰富,由单一的二维平面图像发展为三维空间分布,立体显示病灶及组织结构。多种后处理技术的出现,不断丰富临床信息,临床诊断及应用更加广阔。多层螺旋 CT 后处理技术方法很多,应用范围很广。目前,国内外对多层螺旋 CT 后处理技术在各系统中的临床研究已取得较大进展。

MSCT 常用的后处理技术

1. 最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)

MIP 的成像原理是利用投影法,在任意方向将三维数据进行投影。观察视角选择后,从假定的投影光线的该角度出发,轨迹上的兴趣结构信号强度以上的像素编码被该投影光线穿行,形成二维影像投影;由所有投影线对应的最大密度像素组成的图像就是 MIP 产生的图像,其密度差异在组织中显示较好,密度高低对比较明显,容积组织最大强度值反映在每个像素中。MIP 可连续施行变换投影,可得到兴趣区旋转的立体图像,必要时还可把明显高于兴趣结构的立体显示切割掉,使兴趣结构充分显示。MIP 其独特优势在于能够清晰、立体显示血管走形、变异、异常病变如肿瘤血供的来源等以及血管壁的一系列改变如钙化等。

2. 表面遮盖显示(surface shaded display, SSD)

SSD 是将三维容积数据中蕴含物体表面加上的明暗阴影进行显示的方法。其具体是先确定感兴趣区的 CT 阈值,根据阈值取得容积成像内的二维图像,然后将 CT 阈值以上的连续性所有像素作为等密度组成一个表面三维结构模型,CT 阈值以下的像素放弃,再以一假想的光源照射于三维模型表面,以灰阶的方式或伪彩的方式显示三维结构模型的表面影像。SSD 是一种三维显示,空间立体感强,其图像近似于真实解剖关系,有利于显示复杂结构的三维立体空间结构关系,多用于组织结构对比明显的三维重建,如明显强化的血管、骨骼等结构的三

维成像。

3. 容积再现技术(volume rendering technique, VRT)

VRT 包括以物体空间为序的体绘制算法和以图像空间为序的体绘制算法两大类,其可视化图像发展成为近年来研究热点。VRT 在图像重建过程中从给定的角度上以假定的投影线穿越扫描容积,对容积内的像素信息作综合显示的方法。该方法首先确定密度-像素直方图在扫描体积内,不同组织被以直方图的不同峰值所代表,然后计算各种组织每个像素内的百分比,继而换算成像素的不同灰度。VRT 技术所有像素能显示,细节显示真实,对比度显示良好,不丢失容积资料,与大体标本相似。VRT 能使深部和表面结构同时立体显示,必要时可切割掉兴趣结构以外的部分,可避免遮盖兴趣结构;VRT 图像可任意角度、轴向旋转,其图像边缘柔和、立体感丰富,可以准确、方便地观察组织病变的空间定位及整体形态;显示时可赋予图像以不同的透明度和色彩,给人以真实三维立体的视觉感受。

4. 多平面/曲面重建(multiple/curved planar reconstruction, MPR/CPR)

MPR 是指把横断扫描所得的二维图像以像素为单位,重建为以体素为单位的三维数据,再用横断面、矢状面、冠状面或任意斜状面去获取三维数据,得到重组的二维图像,重建的多平面层厚、层数和层间距可以自行设定;在把每一层横断面叠加起来的时候,其插值在层与层之间确定,形成间距相同各向体素的三维容积数据。MPR 技术能同时显示矢状面、冠状面、横断面及任意方向角度图像。

5. CT 仿真内镜(CT virtual endoscopy, CTVE)

CTVE 是用扫描所提供的容积数据,采用仿真技术手段,模拟出三维立体空间环境,具有强烈的真实感;CTVE 能够重建出空腔管道器官如呼吸道、胃、肠以及大血管等内表面的三维立体空间图像,并能够模拟纤维内镜的检查程序,因此称为仿真内镜。由此衍生出 CT 仿真支气管镜(CT virtual bronchoscopy, CTVB),CT 仿真胃镜(CT virtual gastroscopy, CTVG),CT 仿真结肠镜(CT virtual colonoscopy, CTVC),CT 仿真膀胱镜(CT virtual cystoscopy, CTVC)等。

6. 透明显示(Ray Sum)

Ray Sum 是 VRT 技术中的一种显示方法,经过 Ray Sum 处理后的技术图像可呈现透明显示影像,和双对比消化道造影的效果相似。与传统胃钡餐对比,其优点根据需要可切割掉兴

作者单位:430015 武汉,湖北省新华医院放射科(王刚、郑树卿);体检中心(陈莉)

作者简介:王刚(1967—),男,湖北武汉人,副主任技师,主要从事 CT 影像及防护工作。

通讯作者:陈莉, E-mail: chenli2008_08_08@sina.com

趣以外的周围骨组织结构和相邻器官的重叠影像,而且可任意角度旋转图像,可让病灶充分暴露显示。

MSCT 后处理技术的临床应用

1. 消化系统疾病的临床应用价值及限度

MSCT 后处理技术在胃肠道实质病灶方面利用 MPR 其任意角度重建成像特点,可精确显示病灶位置、大小形态、范围、内部结构及与周围组织脏器关系等;MIP 对血管病变敏感,有其优势,它能清晰显示肿瘤血供来源及血液分布情况,这在血管选择介入治疗及临床医生手术选择方面都有重要的指导提示价值。CTVE 对胃结构黏膜及皱襞可正常显示观察,其观察效果类似纤维胃镜。通过后处理技术对胃癌、胃恶性间质瘤、胃活动性溃疡及胃炎性息肉等病变的临床应用研究后认为^[1-3]胃 CTVE 对胃腔内病变的外观形态及黏膜均可良好显示;胃炎性息肉 CTVE 显示肿块表面光滑,边缘光整,有单个或多个结节状隆起突入胃内;胃癌肿块向腔内突出,CTVE 可清晰显示肿块表面不规则粗糙,呈菜花状,黏膜走形紊乱粗大,基底较宽。CTVE 检查同时还可做 SSD、Ray Sum 成像,进一步多角度、立体观察病变位置、大小形态,充分显示狭窄的胃腔情况及外观轮廓改变等。罗敏等^[4]通过 MSCT 对小肠病变应用后处理技术研究后认为小肠病变与肠道关系显示方面 MPR 优于横断面图像,MPR 利用其旋转多视角成像特点,更加容易确定供血动脉与病灶关系;运用 MIP 或 VRT 可显示肿瘤的引流静脉与供血动脉,VRT 可立体直观显示血管与肿瘤空间位置关系;MIP 或 VRT 在小肠炎性病变方面,可显示增粗的引流静脉及肠管病变段供血动脉,VRT 在其它小肠病变方面其对血管的观察非常适合,可细腻、清晰显示血管细节,透明感强,立体感丰富,能同时显示邻近组织与血管,血管与血管之间的空间立体关系。MPR 的限度在于显示空间结构能力欠佳;MIP 的缺陷在于对相互重叠及密度相似的解剖部位,其获得的图像价值不充分;CTVE 的限度在于对检查前的准备要求较高,口服产气粉剂量要适量,过高或过低都对胃黏膜与病变的观察不利,对于腔内病变缺乏特异性及敏感性,不能取组织标本活检,无法替代内镜检查及治疗。

MSCT 后处理技术在结肠病变的应用较为成熟^[5-6]。结肠 CTVE 对肠腔内黏膜和皱襞可正常显示观察,CTVE 对肠腔内观察效果近似于纤维结肠镜,能清晰显示病灶形态、大小、位置等内容。结肠癌肿块向腔内突出,CTVE 可清晰显示肿块表面凹凸不平,形态不规则,局部黏膜破坏、中断、消失;结肠息肉 CTVE 显示肿块表面光滑,局部黏膜显示良好,有单个或多个乳头状突起于腔内^[7]。MPR 利用其任意平面角度切换特点,对肠壁及肠腔内外均可同时观察;SSD 可从不同角度对结肠外形进行观察,可了解结肠病变部位整体形态,与周围组织结构关系及侵犯范围、程度等,清晰显示病变段结肠外形有无挤压、狭窄及狭窄部位、程度等,对临床医生制定手术方案及治疗有指导作用。Ray Sum 技术类似于气钡双重结肠造影,可清晰显示肠内软组织块影、肠壁增厚及管腔改变等。其限度在于对检查前的准备要求较高,充气不足、粪渣残留易造成误诊;后处理时间稍嫌过长,不能对病变组织取材活检,不能提供结肠黏膜真实色彩,对炎性病变细微黏膜改变显示欠佳,无法取代内镜检查及治疗。

2. 呼吸系统疾病的临床应用价值及限度

MSCT 后处理技术清晰显示支气管树,有较高分辨率,可全面直观了解病变大小形态、位置、狭窄程度以及与周围组织结构关系,是否存在挤压、向外浸润及气道远端情况等。通过 MSCT 后处理技术对支气管、气管异物临床应用研究后认为 MPR 可在同一平面上使阻塞段近、远端与异物在气道上同时显现;利用 MPR 灵活调节图像层面角度和深度特点,可连续性显示气管支气管,有利于仔细观察病变;MPR 无法显示直接征像时,肺部的间接改变往往提示病变的存在及位置等,诊断时结合观察横断面原始 CT 图像,以防 MPR 假阳性发生。SSD 可以显示 I~IV 级支气管,部分显示 V~VI 级和少量 VII 级支气管;SSD 可立体观察气管、支气管管壁及外观轮廓改变,狭窄部位、程度,以及清晰显示有无外在挤压变形,甚至可观察到局部截断的支气管^[8]。CTVB 可以显示 III~IV 级支气管,而气管支气管异物多发生于 I~III 级支气管,因此 CTVB 可提供清晰准确的图像来了解异物发生的部位、大小形态以及与管腔的关系等^[9];CTVB 可越过异物阻塞部位对远端支气管进行观察或从支气管远端向近端观察,这些都是纤维支气管镜不可能做到的^[10]。肺癌肿块向腔内突出,CTVB 可以观察到肿块表面凹凸不平,形态不规则,粗糙,对于轻度沿管壁生长的隆起性病变 CTVB 容易漏诊,此时应结合 SSD、MPR 弥补不足,对于向腔外生长的病变,以横断面观察为主;CTVB 能清晰显示肺癌术后支气管残端的内表面形态以及肿瘤有无复发等。其限度在于病变隆起<2mm,直径<5mm 容易漏诊;阈值选择不当易造成假阳性和假阴性,应根据病变大小、形态、部位对阈值灵活动态调整^[11],CTVB 同其它仿真镜相同,不能对病变组织取材活检,无法替代纤维支气管镜检查及治疗;SSD 是将 CT 阈值以下的像素放弃,仅利用阈值以上的表面数据,信息丢失较多,细节显示欠佳,易形成假像。

3. 泌尿系统疾病的临床应用价值及限度

MSCT 后处理技术对活体肾移植术前评价方面。利用 MPR、CPR、VRT、MIP、CTVE 观察供肾者术前的肾动静脉、输尿管、肾脏大小形态、功能以及有无肾外病变,供肾者是否存在器质性改变等进行评估^[12];MPR、VRT 可清晰显示肾实质及肾脏与邻近组织器官的立体关系。副肾动脉是肾动脉发生变异后产生的,副肾动脉术前发现至关重要,发生率为 18%~28%^[13]。MSCT 对副肾动脉的检出率高达 93%~100%^[14],对变异肾静脉的检出率高达 95%~100%^[15],薄层 VRT、薄层 MIP、厚层 MIP、厚层 VRT 副肾动脉检出率分别为 96%、95%、89%、86%^[16];薄层 VRT 和薄层 MIP 对输尿管、血管观察价值明显,MIP 在小的血管显示方面比 VRT 有优势且对钙化敏感^[17],VRT 和 MIP 技术联合应用在评价血管方面可互补彼此的不足。CPR 能将迂曲血管拉直,可在同一层面对血管全程进行观察,其对肾血管解剖形态、变异的充分显示,可为供肾者术前选择及术中处理血管提供保障。CTVE 可显示肾动脉分支开口、血管内壁、管腔大小方面情况,其限度在于对周围解剖结构及血管分布的观察欠缺。MSCT 尿路成像(MSCTU)清晰显示肾盂、肾盏、输尿管、膀胱形态;可了解肾脏分泌功能,以及有无狭窄、畸形、积水等,MSCTU 图像可以任意角度方向旋转,其对泌尿系全貌显示更加清晰。

MSCT 后处理技术对泌尿系肿瘤评价方面。利用 MPR 任

意平面角度切换特点,可立体直观地了解病变大小、形态、范围;MPR、VRT、MIP 技术联合应用重建出不同角度、不同平面的肾脏图像,可确定病变的空间关系及病变与肾盂、肾盏、输尿管的立体位置关系,任意旋转从最佳视野观察病变,能准确显示肿瘤与肾集合系统、血管系统及周围正常肾实质的位置关系,对临床医生制定手术方案及治疗有指导作用;VRT 可显示肾盂、肾盏、输尿管立体形态,空间定位能力强;MSCTU 可清晰显示肾盂内充盈缺损^[18]。肾癌血供丰富,动脉期肿瘤强化明显,MPR、VRT、MIP 重建 CT 血管成像(CT angiography, CTA)可显示清晰的肿瘤供血动脉及迂曲增粗的肿瘤血管,此征象出现率 93.8%。膀胱 CTVE 对直径 $\geq 5\text{mm}$ 的膀胱肿瘤能满意显示, $< 5\text{mm}$ 的膀胱肿瘤约有 60%左右显示率,对直径 $\geq 10\text{mm}$ 的膀胱肿瘤诊断其符合率为 100%, $< 10\text{mm}$ 的符合率为 71%^[19];CTVE 对膀胱内的观察效果类似纤维膀胱镜,清晰显示病变的数目、形态与输尿管开口关系及瘤周子灶等内容,CTVE 可显示膀胱内不规则、宽基底或突出腔内带蒂块影,对 $< 5\text{mm}$ 的膀胱肿瘤显示优于横断面图像^[19];CTVE 适用于不能耐受纤维膀胱镜检查伴有狭窄的膀胱癌患者,并可用于评价膀胱癌术后的疗效。CTVE 结合横断面、MPR、SSD 图像综合观察,显示病变的起源、侵袭程度、膀胱壁、腔内大体病变形态,与周围组织结构关系等,对手术定位、制定手术方案及治疗有指导作用。其限度在于病灶直径 $< 5\text{mm}$ 容易漏诊;成像参数选择不当可造成图像的误差和失真;局限于黏膜下,扁平病灶不敏感;同其它仿真镜相同,不能对病变组织取材活检,无法替代纤维膀胱镜检查及治疗,只能作为一种补充手段。

4. 骨关节系统疾病的临床应用价值及限度

MSCT 后处理技术对侧弯脊柱评价方面。MPR 技术快捷简单实用,清晰显示椎体、椎旁组织、椎管、椎管内脊髓的情况,对椎弓根层面均能显示清晰;冠状面显示脊柱的侧弯程度,可发现融合椎和半椎体^[20],矢状面可显示椎管内结构。CPR 以椎管为轴心冠面成像,能将变形、旋转的椎体、椎管重建在同一平面上进行显示观察,特别适用于旋转型脊柱畸形的观察,对各种疾病如炎症、外伤等引起的旋转型脊柱畸形患者,CPR 可对椎体、椎管的连续影像进行观察,以了解其大小、位置、程度等^[21],为进一步治疗提供帮助,其限度在于冠状面、矢状面的单一图像,对附件的畸形和椎体的旋转观察欠缺,不能满意。SSD 首先对靶组织的阈值正确选择,将 CT 阈值以上连续性所有像素组成一个表面三维结构模型,主要是对侧凸脊柱的骨性结构进行观察,了解脊柱椎体旋转程度,是否有骨质病变及测量侧凸角度等,清晰显示脊柱侧凸的全貌,其对椎管内的结构显示不如 CPR,对脊柱椎体侧凸显示超过 MPR,其限度在于阈值以下的组织,如椎管内组织、椎旁软组织结构不能显示。VRT 技术所有像素能显示,真实显示细节,对脊柱侧凸综合评价效果好,通过调节不同阈值,可对不同组织进行显示,如椎体、椎管、附件、脊髓及椎旁软组织等;VRT 图像可任意角度、轴向旋转,对重叠部分任意切割,对侧弯的空间定位、整体形态观察准确,图像对比度显示良好、立体感丰富,可显示脊柱侧弯组织结构、侧弯程度以及与周围组织结构关系,为临床治疗提供更直观信息。

MSCT 后处理技术对骨关节创伤评价方面。MPR 能从不同层面对骨折、脱位清晰显示,可了解骨折移位、骨折线的走形

方向、骨折位置、类型、邻近软组织损伤、关节脱位以及发现小骨碎片游离于关节腔内及关节受累情况等,对骨碎片的来源判断提供依据^[22];通过 CT 阈值调节窗宽、窗位,很容易在骨窗、软组织窗之间切换观察,除了解骨折外,对周围邻近软组织损伤清晰显示,其限度在于立体感及空间关系显示欠佳,对骨碎片全貌、受累的邻近骨及骨折线的完整显示能力不足^[23]。SSD 可通过任意角度切割、旋转,从最佳视野、角度观察骨折脱位情况,对骨折脱位后的骨关节空间关系及结构能完整立体显示,为临床医生治疗、手术提供帮助。SSD 空间立体感强,是一种三维显示,其图像近似于真实解剖关系,有利于显示复杂结构的三维立体空间结构关系,其限度在于对未移位的线形骨折,移位不明显或移位不超过 2mm 的骨折显示不满意,对无明显凹陷及深部的骨折显示欠佳。SSD 在显示关节脱位及深部细小骨折的细节方面不如 MPR,其次,阈值选择不当易造成假阳性、假阴性。VRT 图像立体感丰富,边缘柔和,可准确、方便地观察骨关节创伤的整体形态及空间定位,图像可任意角度、轴向旋转,对比度好,在轻微细小骨折显示方面较 SSD 清晰,骨关节立体空间关系显示方面优于 MPR;同时,对骨折的对线、对位及金属内固定的位置显示清晰,术后随访 VRT 较其他后处理技术优势明显,其限度在于透明度的存在,易造成重叠影像,对观察诊断造成影响。

MSCT 后处理技术在其它方面的应用性

MSCT 后处理技术的应用领域越来越广,不仅在骨关节、泌尿、消化、呼吸系统等方面,而且在其它系统的应用也很成熟。

MSCT 后处理技术在心血管领域,其 MSCTA 技术对血管内对比剂充盈程度、肿瘤与邻近血管,血管病变如动脉瘤、狭窄、畸形、夹层等显示清晰;MSCTA 诊断脑动脉瘤,其图像重建方法主要有 VRT、MIP、CPR、SSD。MSCTA 对脑动脉瘤敏感度高达 96%以上^[24];CPR 技术对血管的全貌有较好的显示,可以发现瘤颈钙化、瘤体形态等信息,对显示颅内段的颈内动脉效果好,对于血管分叉部位显示欠佳,易造成误漏诊;MIP 技术对血管走形、形态及钙化的管壁有较好的显示,但对于强化的动静脉及钙化有时无法区分^[25];SSD 技术可显示血管的表面形态,表面解剖清晰,立体感强,对瘤体定位以及瘤体与周围组织结构关系显示清晰;SSD 对血管内部形态结构及管壁钙化等方面显示欠佳;VRT 技术可显示血管的表面形态、周围结构位置关系,其三维解剖空间关系明确,清晰显示骨骼、血管及软组织。

MSCT 后处理技术在冠状动脉疾病应用方面。CPR、MIP、VRT、SSD 等后处理技术联合应用,可充分显示冠脉前降支、回旋支、左主干、右冠状动脉的解剖形态、钙化及狭窄情况^[26];冠脉钙化积分的评估,对中度危险性的冠心病患者有实用价值,对这些钙化积分高的患者可及时指导临床干预及治疗,从而降低发生疾病的危险性。

MSCT 后处理技术在颅骨缺损修补的应用方面。颅骨缺损是神经外科术后常见的后遗症之一,颅骨修补成形术是对缺损颅骨修补、填充的手术^[27]。VRT、MPR 技术可立体、清晰、多方位显示颅骨结构及缺损细节如位置、大小、形态等,应用其三维重建技术可精确设计制造出与患者颅骨缺损部位高度吻合

的三维数字化钛网修复体, MSCT 后处理技术在颅骨成形, 修补中发挥着重要作用^[28]。相信随着后处理软件功能的逐步升级及 CT 设备硬件的不断完善及发展, 螺旋 CT 后处理技术在临床应用各领域必将发挥更大作用。

参考文献:

- [1] Kim HJ, Kim AY, Oh ST, et al. Gastric cancer staging at multi-detector row CT gastrography: comparison of transverse and volumetric CT scanning[J]. Radiology, 2005, 236(3): 879-885.
- [2] Lee IJ, Lee JM, Kim SH, et al. Diagnostic performance of 64-channel multi-detector CT in the evaluation of gastric cancer: differentiation of mucosal cancer (T1a) from submucosal involvement (T1b and T2)[J]. Radiology, 2010, 255(3): 805-814.
- [3] 韦璐, 陈刚, 白崇顺, 等. 16 排螺旋 CT 及其图像后处理技术在诊断胃部疾病中的应用[J]. 华夏医学, 2006, 19(6): 1174-1175.
- [4] 罗敏, 胡道予, 王秋霞. MSCT 容积再现技术对小肠病变的临床应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18(2): 174-178.
- [5] Kim SH, Lee JM, Eun HW, et al. Two-versus three-dimensional colon evaluation with recently developed virtual dissection software for CT colonography[J]. Radiology, 2007, 244(3): 852-864.
- [6] Zalis ME, Perumpillichira JJ, Kim JY, et al. Polyp size at CT colonography after electronic subtraction cleansing in an anthropomorphic colon phantom[J]. Radiology, 2005, 236(1): 118-124.
- [7] Silva AC, Wellnitz CV, Hara AK. Three-dimensional virtual dissection at CT colonography: unraveling the colon to search for lesions[J]. Radiographics, 2006, 26(6): 1669-1686.
- [8] Kocaoglu M, Bulakbasi N, Soyulu K, et al. Thin-section axial multi-detector computed tomography and multi-planar reformatted imaging of children with suspected foreign-body aspiration: Is virtual bronchoscopy overemphasized? [J]. Acta Radiol, 2006, 47(7): 746-751.
- [9] Heliloglu M, Ciftici AO, Oto A, et al. CT virtual bronchoscopy in the evaluation of children with suspected foreign body aspiration [J]. Eur Radiol, 2003, 48(2): 188-192.
- [10] Heyer CM, Nuesslein TG, Jung D, et al. Tracheobronchial anomalies and stenoses: detection with low-dose multi-detector CT with virtual tracheobronchoscopy—comparison with flexible tracheobronchoscopy[J]. Radiology, 2007, 242(2): 542-549.
- [11] 强金伟, 周康荣, 廖治河. 多层螺旋 CT 气管三维重组的临床应用[J]. 放射学实践, 2006, 21(7): 674-678.
- [12] Adam L, Summerlin, Mark E, et al. Determination of split renal function by 3D reconstruction of CT angiograms: a comparison with gamma camera renography [J]. Am J Roentgenol, 2008, 191(6): 1552-1558.
- [13] Holden A, Mbch B, Franz CR, et al. Assessment of 100 live potential renal donors for laparoscopic nephrectomy with multi-detector row helical CT[J]. Radiology, 2005, 237(3): 973-980.
- [14] Rastogi N, Sahani DV, Michael A, et al. Evaluation of living renal donors: accuracy of three-dimensional 16-section CT[J]. Radiology, 2006, 240(1): 136-144.
- [15] Yag CI, Tavasli B, Karabulut N, et al. Clinical significance and renal haemodynamics of incidentally detected retroaortic left renal vein: assessment with venous Doppler sonography[J]. Br J Radiol, 2008, 81(963): 187-191.
- [16] Kim JK, Kim JH, Bae SJ, et al. CT angiography for evaluation of living renal donors: comparison of four reconstruction methods [J]. Am J Roentgenol, 2004, 183(2): 471-477.
- [17] Elliot K, Fishman, Derek R, et al. Volume rendering versus maximum intensity projection in CT angiography: what works best, when and why[J]. Radiographics, 2006, 26(4): 905-922.
- [18] 曲艳辉. 多层螺旋 CT 多维重建在泌尿系统疾病诊断中的应用[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18(2): 142-144.
- [19] Song JH, Francis IR, Platt JF, et al. Bladder tumor detection at virtual cystoscopy[J]. Radiology, 2002, 218(1): 95-100.
- [20] Lonner BS, Auerbach JD, Estreicher MB, et al. Thoracic pedicle screw instrumentation: the learning curve and evolution in technique in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine, 2009, 34(20): 2158-2164.
- [21] Hong JY, Suh SW, Easwar TR, et al. Evaluation of the three-dimensional deformities in scoliosis surgery with computed tomography: efficacy and relationship with clinical outcomes [J]. Spine, 2011, 36(19): E1259-E1265.
- [22] Fayad LM, Corl F, Fishman EK. Pediatric skeletal trauma: use of multi-planar reformatted and three-dimensional 64-row multi-detector CT in the emergency department[J]. Radiographics, 2009, 29(1): 135-150.
- [23] Fishman EK, Horton KM, Johnson PT. Multi-detector CT and three-dimensional CT angiography for suspected vascular trauma of the extremities[J]. Radiographics, 2008, 28(3): 653-665.
- [24] Papke K, Kuhl CK, Fruth M, et al. Intracranial aneurysms: role of multi-detector CT angiography in diagnosis and endovascular therapy planning[J]. Radiology, 2007, 244(2): 532-540.
- [25] Tomandl BF, Kostner NC, Schempershofe M, et al. CT angiography of intracranial aneurysms: a focus on postprocessing[J]. Radiographics, 2004, 24(3): 637-655.
- [26] Ferencik M, Ropers D, Abbara S, et al. Diagnostic accuracy of image postprocessing methods for the detection of coronary artery stenoses by using multi-detector CT [J]. Radiology, 2007, 243(3): 696-702.
- [27] Chabas JF, Dellavolpe C, Riah Y, et al. Cranial reconstruction after a post- craniotomy empyema [J]. J Plast Reconst Aesthet Surg, 2009, 62(6): 131-135.
- [28] Cabraja M, Klein M, Lehmann TN. Long-term results following titanium cranioplasty of large skull defects[J]. Neurosurg Focus, 2009, 26(6): E10.

(收稿日期: 2013-02-05)